

**ANALISA KERUSAKAN FORMASI AKIBAT PEKERJAAN PERFORASI DENGAN  
MENGUNAKAN METODA YILDIZ PADA SUMUR FR 168, SUMUR 154,  
DAN SUMUR 148 DILAPANGAN X****(Analisis of Formation Damage Due to Perforation Work Using Yildiz Methods On well FR 168,154 dan148, Field X)****ALIMUSNAL****Jurusan Teknik Perminyakan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau  
Jln Kaharuddin Nst No 113 Pekanbaru 28284**[ulpti@yahoo.co.id](mailto:ulpti@yahoo.co.id)**Abstrak**

Kompleksi perforasi merupakan salah satu alternatif penyelesaian sumur untuk formasi yang tidak kompak. Perforasi dilakukan pada lapisan produktif dengan cara membuat lubang pada casing sebagai penghubung antara lapisan produktif dengan lubang sumur, sehingga terjadi aliran fluida dari formasi kelubang sumur. Pada umumnya ketika kegiatan perforasi dilakukan akan terjadi kerusakan sumur yang ditandai dengan adanya skin. Untuk menentukan besarnya harga skin yang di akibatkan oleh perforasi tersebut pada penelitian ini diterapkan metoda Yildiz. Perhitungan skin diperoleh berturut turut pada sumur FR 168,154 dan 148 adalah 6.835,6.784 dan 7.610. Berdasarkan skin tersebut diperoleh produktivitas indeks (PI) berturut turut adalah 0.10 bpd/psi, 1.86 bpd/psi dan 0,24 bpd/psi serta harga laju produksi (Q) berturut-turut adalah 168.297 bfpd, 1151.533 bfpd dan 371.271 bfpd. Dari perbandingan kedua parameter hasil perhitungan Q dan PI menggunakan metoda Yildiz menghasilkan harga yang lebih besar dibandingkan harga dari aktualnya.

**Kata-kata kunci:** Skin, Produktivitas Indeks, laju alir fluida reservoir.**Abstract**

Perforation of completion is one alternative of the well completion as special for unconsolidated formation. Perforation implemented on productive layer by doing a hole on the casing that connected between productive layers and the well hole. In general when perforation carried out will be damage to the well characterized by the skin. To determine the value of skin that resulted by perforation in this research by using Yildiz Method. The calculation result of skin from well # FR 168, well # 154 and well # 148 respectively are 6.835, 6.784 dan 7.610. Based on the value of skin resulted the Productivity indeks (PI) for well # FR 168, well # 154 and well # 148 respectively are 0.10 bpd/psi, 1.86 bpd/psi and 0,24 bpd/psi, while the value of production rate (Q) for each well can be culated.

**Keywords:** Skin, Productivitas Indeks, Rate.**1. PENDAHULUAN**

Kerusakan formasi adalah salah satu faktor yang mempengaruhi laju produksi. Hal ini dikarena adanya faktor skin yang diakibatkan oleh perforasi yang dilakukan pada sumur. Sehubungan dengan hal tersebut perlu dilakukan perhitungan Skin. Perhitungan skin pada penelitian ini dilakukan dengan metoda Yeldis dan setelah nilai skin di peroleh, maka laju

produksi yang dihasilkan keseluruhannya dapat dihitung hal ini akan menunjukkan besarnya Produktifitas Indeks.

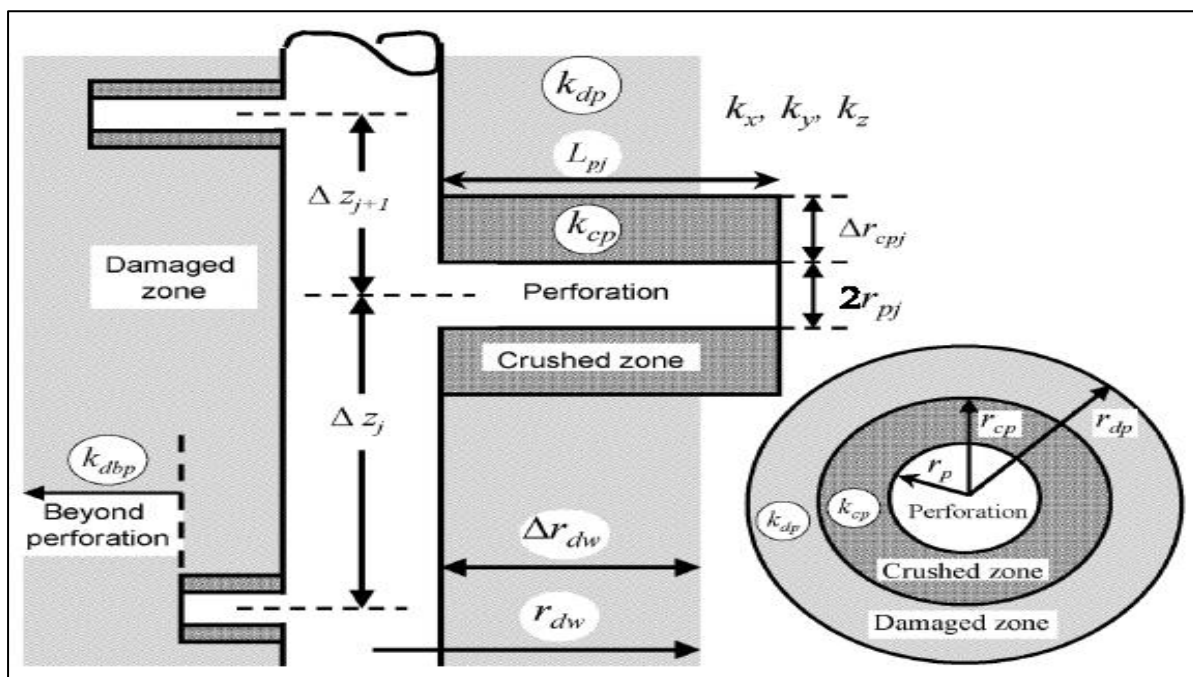
Produktivitas sumur minyak dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya propertis fluida, kompleksi sumur, Formation damage (skin), dan lain-lain. Kerusakan Formasi adalah merupakan perusakan/penurunan permeabilitas di sekitar daerah lubang bor. Adanya kerusakan formasi dapat menurunkan produktivitas sumur. Pengaruh kerusakan formasi terbatas pada daerah di sekitar lubang bor, Sedangkan dalam penelitian ini akan menghitung efek kerusakan formasi dinyatakan dalam skin faktor ( $s_d$ ).

## **II. Metoda Penelitian**

Penulisan penelitian ini berdasarkan hasil studi Pustaka dan diaplikasikan dengan data lapangan, kemudian menganalisa sesuai dengan teori yang didapatkan dari literatur.

### **2. TEORI DASAR METODA YILDIZ**

Pekerjaan perforasi merupakan bagian dari penyelesaian suatu sumur minyak. Sesudah pipa selubung produksi disemen dan kepala sumur (well head) selesai dipasang dan diset dengan baik, maka kegiatan selanjutnya adalah perforasi di zona produktif yang telah ditentukan. Gambar 1 menunjukan bentuk penyelesaian sumur perforasi dengan Formation Damage dan parameter crushed zone.



*Gambar.1. Bentuk Sumur Perforasi Dengan Formation Damage dan parameter crushed zone*

Yildis melakukan perhitungan terhadap faktor skin yang diakibatkan oleh perforasi dengan menerapkan dan memodifikasi persamaan yang diterapkan oleh Karakas-Tariq. Langkah-langkah dalam menentukan skin pada saat perforasi sebagai berikut :

1. Hitung skin disaat aliran konvergen secara horizontal dengan persamaan :

$$SH = \ln \left( \frac{r_w}{r_{we}} \right), \quad r_{we}(\theta_p) = \alpha(\theta_p) * (r_w + L_p)$$

Dimana :  $r_{we}$  adalah radius sumur yang efektif, dapat ditentukan konstantanya pada tabel dibawah ini:

*Tabel 1. Fasa penembakan*

Perforation Phasing	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>
0° (360°)	0.250	-2.091	0.0453	5.1313	1.8672	1.6E-1	2.675
180°	0.500	-2.025	0.0943	3.0373	1.8115	2.6E-2	4.532
120°	0.648	-2.018	0.0634	1.6136	1.7770	6.6E-3	5.320
90°	0.726	-1.905	0.1038	1.5674	1.6935	1.9E-3	6.155
60°	0.813	-1.898	0.1023	1.3654	1.3490	3.0E-4	7.509
45°	0.860	-1.788	0.2398	1.1915	1.6392	4.6E-5	8.791

2. Hitung skin wellbore dengan persamaan :

$$S_{wb}(\theta) = C_1(\theta)EXP[C_2(\theta)r_{WD}] \quad , \quad r_w D = \frac{r_w}{(r_w + Lp)}$$

C<sub>1</sub> dan C<sub>2</sub> dapat dilihat pada tabel di atas untuk berbagai macam phasa penembakan.

3. Hitung skin vertikal dengan persamaan :

$$\Delta z_{pD} = \Delta z_p \sqrt{\frac{\left(\frac{k_r}{k_z}\right)}{L_p}} \quad \Delta z_p = \frac{1}{n_{spf}}$$

$$r_{pD} = \left(\frac{r_p}{2 * \Delta z_p}\right) * \left(1 + \sqrt{\frac{k_z}{k_r}}\right)$$

$$a = a_1(\theta_p) * \log(r_{pD}) + a_2(\theta_p)$$

$$b = b_1(\theta_p) * r_{pD} + b_2(\theta_p), \quad Sv = 10^a * \Delta z_{pD}^{b-1} * r_{pD}^b$$

dimana  $a_1, a_2, b_1, dan b_2$  dapat dilihat pada tabel phasa penembakan diatas.

4. Tentukan skin perforasi:

$$S_p = S_H + S_V + S_{wb}$$

5. efek crushed zone dapat ditentukan :

pertama, perkirakan faktor skin disaat zona yang rusak disekitar daerah perforasi.

$$S'_{cz} = \frac{\Delta z_p}{Lp} * \left(\frac{k}{k_{cz}} - 1\right) * \ln\left(\frac{r_{cz}}{r_p}\right), \quad S_{pc} = S_p + S'_{cz}$$

6. Menentukan harga skin damage formasi(S<sub>pd</sub>c).

$$S_{pd}c = S_d + \frac{k}{k_d} * (S_p + S_x), S_x \text{ dapat diabaikan}$$

$$7. \quad h_d = \frac{h / Lp}{\sqrt{k_H / k_v}}$$

Dimensionless perforation radius

$$r_{pD} = \left(\frac{r_p}{2 * \Delta z_p}\right) * \left(1 + \sqrt{\frac{k_z}{k_r}}\right)$$

dimana: r<sub>pD</sub> = radius perforasi, ft

8. Dimensionless well radius

$$r_{wD} = \frac{r_w}{Lp + r_w}$$

dimana: r<sub>w</sub> = radius sumur,

$$S_{wb}(\theta) = C_1(\theta) \text{EXP}[C_2(\theta)r_{wd}]$$

Untuk : 0.30 ≤ r<sub>wd</sub> ≤ 0.90, C<sub>1</sub> dan C<sub>2</sub> pada Tabel dibawah ini:

Tabel.2. Koefesien Korelasi skin vertikal

Perforation Phasing	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>
0° (360°)	0.250	-2.091	0.0453	5.1313	1.8672	1.6E-1	2.675
180°	0.500	-2.025	0.0943	3.0373	1.8115	2.6E-2	4.532
120°	0.648	-2.018	0.0634	1.6136	1.7770	6.6E-3	5.320
90°	0.726	-1.905	0.1038	1.5674	1.6935	1.9E-3	6.155
60°	0.813	-1.898	0.1023	1.3654	1.3490	3.0E-4	7.509
45°	0.860	-1.788	0.2398	1.1915	1.6392	4.6E-5	8.791

Secara formulasi skin pada zona terkompaksi dalam sumur dapat ditentukan dengan :

$$S_c = \left[ \frac{h}{Lp} \left( \frac{k}{k_c} - 1 \right) \right] \ln \frac{r_c}{r_p}, \quad S_d = \left( \frac{k}{k_d} - 1 \right) \left[ \ln \left( \frac{r_d}{r_w} \right) + Sp \right] + \frac{k}{k_d}$$

$$h_{bD} = \frac{h_b}{h}, \quad D = \left| \frac{(1 - h_{pD})}{2 - h_{bD}} \right|, \quad r_{wD} = r_w \sqrt{\frac{\left( \frac{k_z}{k_r} \right)}{h}}$$

$$z_1 = 1 - 2D, \quad z_2 = 1 - 2D + h_{pD}, \quad z_3 = 1 - 2D - h_{pD}$$

$$g(y) = r_{wD} * \frac{\ln \left[ \sin^2 \left( \frac{\pi * y}{2} \right) + 0.1053 * r_{wD}^2 \right]}{\pi}$$

$$f(y) = y * \ln y + (2 - y) * \ln(2 - y) + g(y)$$

$$F = f(0) - f(h_{pD}) + f(z_1) - 0.5[f(z_2) + f(z_3)]$$

$$S_{pp} = \left( \frac{1}{h_{pD}} - 1 \right) * (1.2704 - \ln r_{wD}) - \frac{F}{h_{pD}^2}$$

$$S_{pp} = \text{Skin penetrasi parsial}$$

$$Sp = S_{ppc} = \frac{h}{h_p} S_{pcf}$$

dimana :  $h$  = jarak vertikal antara dua perforasi, ft

$h_p$  = ketebalan zona perforasi, ft

Untuk interval yang diproduksi secara partial komplesi (sebagian), skin perforasinya dapat juga dihitung dengan persamaan berikut :

$$Sa = \left( \frac{h}{Bot.Perf - Top.Perf} \right) x \ln \left( \frac{h}{rw/24} \right) x \left( \frac{Kv}{Kh} \right)^{0.5} - 2$$

$$S_p = S_{ppcD} = \frac{k_f \cdot h}{k_s \cdot h_p} S_{pcf}$$

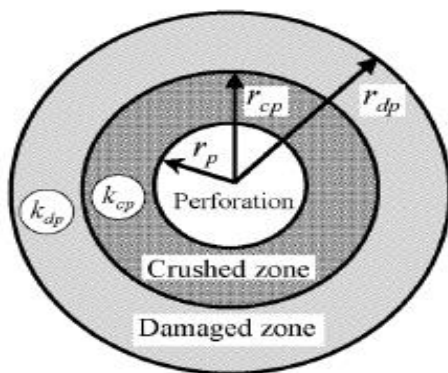
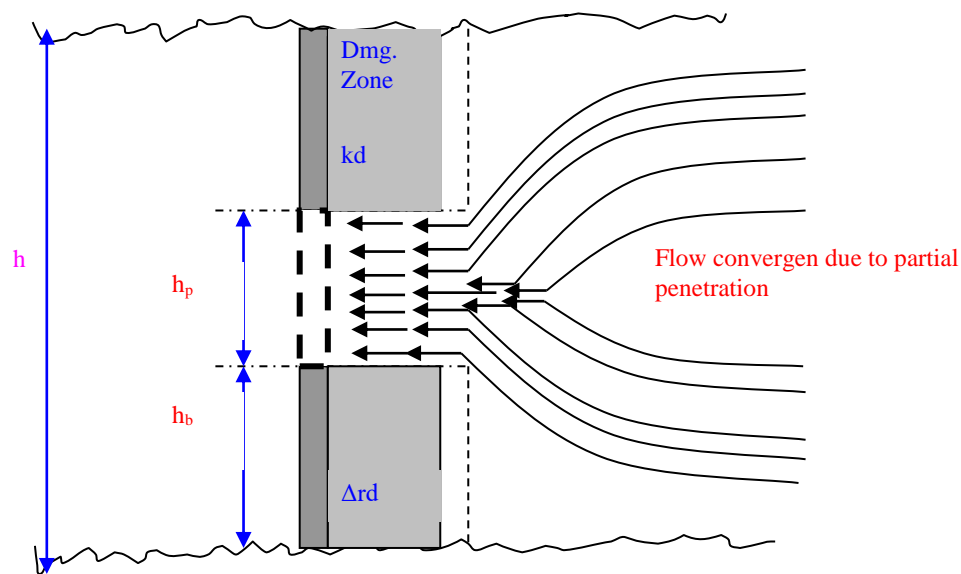
$$S_d = \frac{k_f - k_s}{k_s} \ln \frac{r_s}{r_w}$$

dimana :  $r_s$  = radius skin, ft

$r_w$  = radius well, ft

$$S_{true} = \frac{h}{h_p} S_d \cdot \ln \frac{r_s}{r_w}$$

jadi skin total ( $S_t$ ) =  $S_p + S_{true} + S_a$



Gambar 2. Penampang Damage Zone

### Perhitungan Produktivitas Indeks

$$PI = \frac{q}{P_s - P_{wf}}; \text{ bbl/d/psi}$$

PI juga dapat ditentukan dari persamaan yang lain yaitu:

$$PI = \frac{7.08 \times 10^{-3} k_o h}{\mu_o B_o \left( \ln \frac{r_e}{r_w} - 0.75 + S \right)}$$

### 3. PERHITUNGAN KERUSAKAN FORMASI AKIBAT PEKERJAAN PERFORASI PADA SUMUR FR 168, FR 154 DAN FR 148.

Untuk mengaplikasi teori dari Yeldiz, diambil data lapangan pada sumur kajian

Data lapangan yang digunakan untuk perhitungan

Tabel 3 : Data aktual sumur kajian

No	Type Gun	Well	Sand	K (mD)	Perforasi (ft)		Set Pompa (ft)		SFL	WFL	Q Aktual, bfpd	PI Aktual, bpd/psi
					Top	Bott	MD	TVD				
1	34JL ULTRAJET	FR168	B	35	4936	4950	5128	-	95	4373	105.6	0.06
2	34B HYPERJET II	FR154	B	245	4696	4733	4950	4928	215.7	1817	855.36	1.39
3	34B HYPERJET II	FR148	B	204	4921	4927	5015	4946	563	4566	115.2	0.07

#### Perhitungan Skin Dengan menggunakan metoda Yildiz.

Perhitungan dengan metoda Yildiz dapat dilihat pada lampiran dan hasil perhitungan dapat dilihat pada table dibawah ini :

Tabel 4.:Total skinP ada Segmen Perforasi

No	Well	Perforasi (ft)		Spp	St
		Top	Bott		
1	FR 168	4936	4950	0,496	6,835
2	FR 154	4696	4733	0,241	6,784
3	FR 148	4921	4927	0,605	7,610

#### Perhitungan Produktivitas Indeks

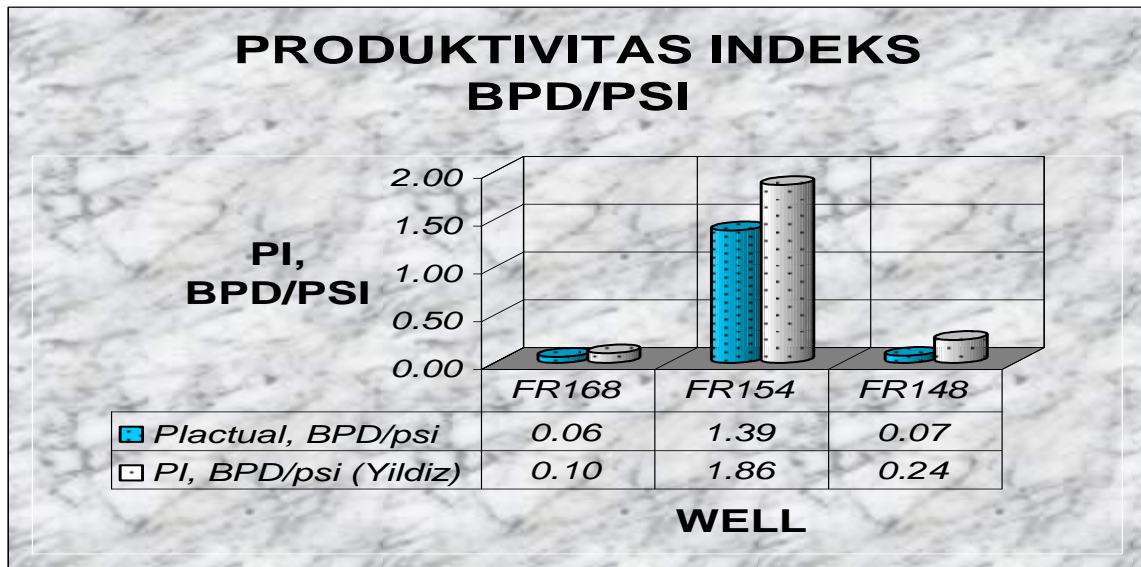
$$PI = \frac{7.08 * 10^{-3} k_o .h}{\mu_o B_o \left[ \ln \left( \frac{re}{rw} \right) - 0.75 + St \right]}$$

$$PI = \frac{7.08 * 10^{-3} (35)(4950 - 4936)}{(2.4) * (1.108) \left[ \ln \left( \frac{500}{0.5} \right) - 0.75 + 6.835 \right]}$$

$$= 0.10 bpd / psi$$

Tabel 5 : Produktivitas Indeks Pada Satu Segmen Perforasi

No	Well	ht,ft	hp,ft	hb,ft	St	PI <sub>actual</sub> , BPD/Psi	PI <sub>BPD/Psi</sub> (Yildiz)
1	FR 168	20	14	4	6,83	0,06	0,10
2	FR 154	46	37	7	6,78	1,39	1,86
3	FR 148	22	6	13	7,61	0,07	0,24



Gambar 3: Perbandingan produktivitas indeks aktual dengan produktivitas perhitungan pada segment perforasi

### Perhitungan Laju Alir Produksi

Setelah produktivitas indeks di hitung, maka laju produksi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$q = PI(P_r - P_{wf})$$

$$q = 0.08(1899.612 - 223.5)$$

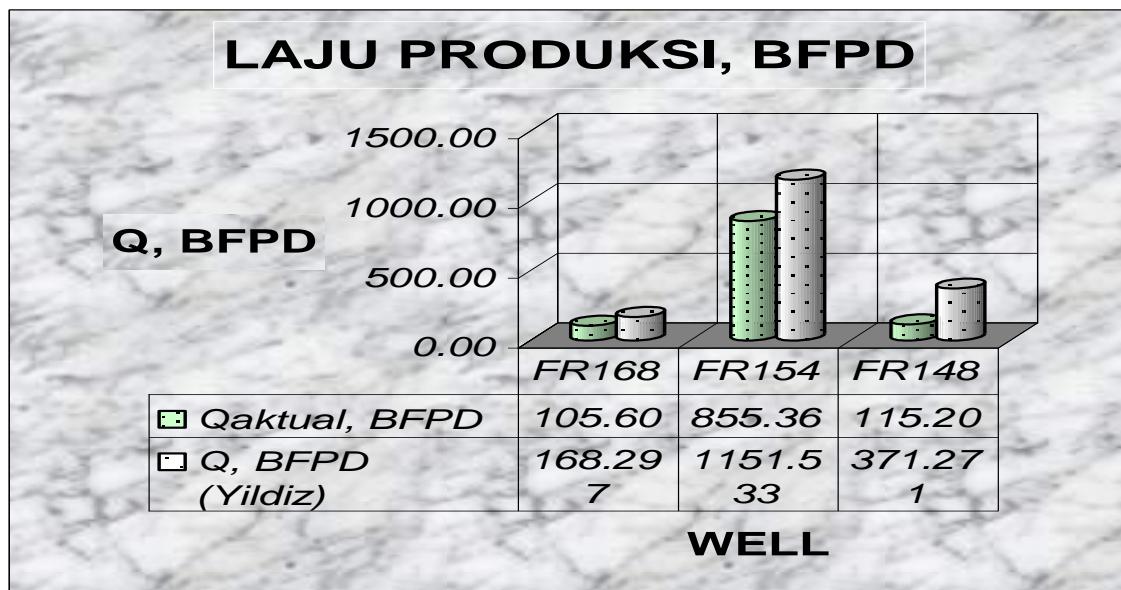
$$= 168.297 \text{ bfpd}$$

Untuk lebih jelasnya perhitungan ini, lihat tabel 6 dibawah ini

Tabel 6 : Laju Produksi Dan Produktivitas Indeks Pada Pada Segmen Perforasi Setiap Masing-Masing Sumur kajian



No	Well	PI,BPD/psi (Yildiz)	Q, bfpd(Yildiz)
1	FR 168	0.10	168.297
2	FR 154	1.86	1151.533
3	FR 148	0.24	371.271



Gambar 4. Perbandingan laju produksi aktual dengan laju produksi Yildiz pada segmen perforasi

#### 4. PEMBAHASAN

Membahas skin yang diakibatkan oleh perforasi. Berdasarkan data-data sumur yang telah diseleksi sebelumnya. Besarnya zona yang rusak “*Crushed Zone*” yang dibentuk oleh Gun Perforasi yang mengakibatkan adanya hambatan aliran atau skin, sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap laju produktivitas fluida reservoir yang diterapkan dalam sumur kajian, dimana hasil dari perhitungan dengan menggunakan metoda Yildiz ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk membandingkan dengan kenyataan produksi di lapangan. Metoda Yildiz digunakan karena metoda ini memperhitungkan kerusakan formasi baik secara vertikal secara horizontal dan secara lateral dan lebih refresentative dibandingkan dengan metoda lain atau dengan Program SPAN. Dari hasil perhitungan pada satu segmen perforasi diperoleh skin totalnya bernilai positif seperti terlihat pada table dibawah ini.

Tabel 7 : Skin total pada satu segmen perforasi setiap sumur-sumur kajian

No	Well	Perforasi (ft)		Spp	St
		Top	Bott		
1	FR168	4936	4950	0.496	6.835
2	FR154	4696	4733	0.807	6.784
3	FR148	4921	4927	0.605	7.610

Dari nilai skin tersebut, dilakukan perhitungan terhadap produktivitas indeks, dari hasil perhitungan tersebut pada sumur FR168 dengan nilai skin 6,835 produktivitasnya 0,10 bpd/psi, sumur FR154 skinnya 6,784 produktivitasnya 1,86 bpd/psi, dan pada sumur FR148 produktivitasnya 0.24 bpd/psi. Dari hasil produktivitas indeks dapat dipersentase errornya terhadap data aktual lapangan, yang mana pada sumur FR168 persentase errornya sebesar 0.67%, sumur FR154 sebesar 0.34%, dan sumur 148 sebesar 2.38%.

Setelah produktivitas indeks dihitung kemudian dilakukan perhitungan terhadap laju produksinya. Dari hasil perhitungan laju produksi dapat dipersentase errornya terhadap data aktual lapangan, yang mana pada sumur FR168 persentase errornya sebesar 0.59%, sumur FR154 persentase errornya sebesar 0.34%, dan pada sumur FR148 persentase errornya sebesar 2.22%. Hasil perhitungan PI dan laju alir lebih besar dari aktual, hal ini disebabkan kurang teliti dalam pengambilan data, mengingat data yang dibutuhkan sangat bervariasi dan tingkat kesulitannya sangat tinggi.

## KESIMPULAN

1. Dari hasil perhitungan pada segmen perforasi, menunjukkan nilai skin yang positif, yang berarti pada ketiga sumur kajian tersebut mengalami kerusakan akibat pekerjaan perforasi.
2. Harga skin total (St) akibat adanya pekerjaan perforasi berturut turut adalah 6,835, 6,784 dan 7,610, untuk sumur FR168,154 dan 148, sedangkan harga PI berturut-turut adalah 0,10 bpd/psi, 1,86 bpd/psi dan 0.24 bpd/psi. untuk sumur FR168,154 dan 148
3. Laju aliran dari hasil perhitungan dan PI metoda Yildiz ini lebih besar atau tidak terlalu mendekati terhadap Q aktualnya, Hal ini disebabkan karena kurangnya ketelitian dan tingkat kesulitannya sangat tinggi dalam pengambilan data.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Brown, Kermit E., “**The Artificial Lift Method Volume 4**”, Penn Well Publishing Company Tulsa, Oklahoma.

2. Guerra. E, SPE, and Yildiz. T, SPE, “**A Simple Approximate Method To Predict Inflow Performance Of Selectively Perforated Vertical Well**” Colorado School Of Mines,
3. Karakas, Metin and Tarig. S.M, “**Semi analytical Produktivity Models for Perforated Completions**”. SPE, Schlumberger Well Service (SPE 18247)..
4. Yildiz,Turhan, “**Assessment Of Total Skin Faktor in Perforated Well**”, Colorado School of Mines, (SPE 82249)
5. Yildiz,Turhan, “**Produvtivity Of Selectively Perforated Vertical Well**”, U. Of Tulsa, (SPE 82358)

### **DAFTAR SIMBOL**

Hd : Jarak vertikal antara dua perforasi, ft.	Lp : Kedalaman penetrasi, ft
k <sub>H</sub> : Permeabilitas horizontal, md.	k <sub>v</sub> : Permea vertikal, md
h : Jarak vertikal perforasi, ft.	Lp : Kedalaman penetrasi, ft
k : Permeabilitas formasi, md.	r <sub>c</sub> : Jari-jari terkompaksi, ft
k <sub>c</sub> : Permeabilitas zona terkompaksi, md.	r <sub>p</sub> : Radius perforasi, ft
k <sub>d</sub> : Permeabilitas damage, md.	r <sub>d</sub> : jari-jari damage, ft
r <sub>w</sub> : Jari-jari sumur, ft.	Sp : Skin partial kompleksi
k <sub>v</sub> : Permeabilitas vertikal, mD.	Kh : Permea horizontal, mD
H : Ketebalan zona produktif, ft.	ks : permea formasi, md
q <sub>p</sub> : Laju alir fluida menuju lubang sumur pada sumur diperforasi, bpd	
Sp : Faktor skin akibat perforasi	Lp : Panjang perforasi, ft
k <sub>f</sub> : Permeabilitas zona skin.md.	h <sub>p</sub> : ketebalan perforasi,ft
h <sub>b</sub> : Jarak antara bottom perforasi dengan dan bottom zona yang produktif (reservoir), ft	n <sub>spf</sub> : jmlh shot per foot.
k <sub>cz</sub> : Permeabilitas pada crushed zone, mD	
r <sub>cz</sub> : Radius crushed zone disekitar perforasi. Ft	
S <sub>cz</sub> : Skin pada batuan yang terkompaksi disekitar perforasi	
Dalam formasi damage	Sd : Skin formasi damage.
Spd : Skin total gabungan aliran konvergen kearah perforasi Dan formasi damage	

### **LAMPIRAN**

### **HASIL PERHITUNGAN MENETUKAN SKIN METODA YILDIZ**

$$1. \ h_{pD} = \frac{h_p}{h} = \frac{14}{20} = 0.7 \text{ ft}$$

$$2. \ h_{bD} = \frac{h_b}{h} = \frac{4}{20} = 0.2 \text{ ft}$$

$$3. \ D = \left| \frac{(1 - h_{pD})}{2 - h_{bD}} \right| = \left| \frac{(1 - 0.7)}{2 - 0.2} \right| = 0.167 \text{ ft}$$

$$4. \ r_{wD} = r_w \sqrt{\frac{\left(\frac{k_z}{k_r}\right)}{h}} = 0.5 \sqrt{\frac{1}{20}} = 0.112 \text{ ft}$$

$$5. \ z_1 = 1 - 2D = 1 - (2 * 0.167) = 0.667 \text{ ft}$$

$$6. \ z_2 = 1 - 2D + h_{pD} = 1 - (2 * 0.167) + 0.7 = 1.367 \text{ ft}$$

$$7. \ z_3 = 1 - 2D - h_{pD} = 1 - (2 * 0.167) - 0.7 = -0.033 \text{ ft}$$

$$8. \ g(y) = r_{wD} * \frac{\ln \left[ \sin^2 \left( \frac{\pi * y}{2} \right) + 0.1053 * r_{wD}^2 \right]}{\pi}$$

$$g(h_{pD}) = r_{wD} * \frac{\ln \left[ \sin^2 \left( \frac{\pi * h_{pD}}{2} \right) + 0.1053 * r_{wD}^2 \right]}{\pi}$$

$$= 0.112 * \frac{\ln \left[ \sin^2 \left( \frac{3.14 * 0.7}{2} \right) + 0.1053 * 0.112^2 \right]}{3.14}$$

$$= -0.008 \text{ ft}$$

$$9. \ f(y) = y * \ln y + (2 - y) * \ln(2 - y) + g(y)$$

$$\begin{aligned} f(h_{pD}) &= h_{pD} * \ln h_{pD} + (2 - h_{pD}) * \ln(2 - h_{pD}) + g(h_{pD}) \\ &= 0.7 * \ln 0.7 + (2 - 0.7) * \ln(2 - 0.7) + g(-0.008) \\ &= 0.083 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10. \ F &= f(0) - f(h_{pD}) + f(z_1) - 0.5[f(z_2) + f(z_3)] \\ &= 1.150 - 0.083 + 0.103 - 0.5[0.125 + 1.247] \\ &= -0.484 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$11. \quad S_{pp} = \left( \frac{1}{h_{pD}} - 1 \right) * (1.2704 - \ln r_{wD}) - \frac{F}{h_{pD}^2}$$

$$= \left( \frac{1}{0.7} - 1 \right) * (1.2704 - \ln(0.112)) - \frac{-0.484}{0.7^2} = 0.496 \text{ ft}$$

$$k_d = \left( \frac{1}{8} \right) * k = \left( \frac{1}{8} \right) * 245, \quad S_d = \left( \frac{k}{k_d} - 1 \right) * \ln \left( \frac{r_d}{r_w} \right)$$

$$= 30.625$$

$$= \left( \frac{245}{30.625} - 1 \right) * \ln \left( \frac{(0.5+1)}{0.5} \right)$$

$$= 7.6903 \text{ ft}$$

$$S_p = S_H + S_V + S_{wb}$$

$$= (-1.3869) + 0.2341 + 0.0058 = -1.3513$$

$$12. \quad St = S_d + S_{pp} + S_p$$

$$= 7.6903 + 0.496 + (-1.3513)$$

$$= 6.835$$